



Comité Nacional Paraguayo



Unión de Ingenieros de ANDE

VIII SEMINARIO DEL SECTOR ELECTRICO PARAGUAYO - CIGRÉ
29, 30 y 31 de Octubre de 2008

Determinação do Potencial de Economia de Energia em Sistemas de Iluminação em uma Escola Pública: Considerando os Níveis de Iluminação Exigidos pela Norma NBR-5413

Vinicius G. D. Fritsch; Romeu Reginato; Roberto C. Lotero

Laboratório de Eficiência Energética (LABEE) – UNIVERSIDADE ESTADUAL DO OESTE DO PARANÁ (UNIOESTE) – Foz do Iguaçu – PR

Brasil

RESUMEN

A eficiência energética é uma opção estratégica cuja importância vem crescendo como alternativa para minimizar a degradação ambiental. As ações para promover o uso eficiente e racional de energia elétrica em instalações consumidoras estão sustentadas na realização de auditorias energéticas, que permitem identificar o potencial de conservação. Aplicadas às escolas públicas permitiram identificar quais os segmentos com maior potencial e quais os fatores que têm maior influência sobre esse potencial. O presente trabalho mostra os resultados da aplicação da metodologia de auditoria energética a sistemas de iluminação de uma escola pública de Foz do Iguaçu. Através do mesmo foi possível mostrar a sensibilidade do potencial de conservação frente a variações em parâmetros como nível de iluminação e altura do sistema de iluminação.

PALABRAS CLAVES

Auditoria Energética; Eficiência Energética; Iluminação, Método de Cálculo Luminotécnico.

Vinicius Guilherme Danieli Fritsch - vinifritsch@yahoo.com.br



1. INTRODUÇÃO

O Brasil possui grande diversidade de fontes para promover a expansão da sua produção de energia. Existe também significativo potencial de conservação de energia nos diversos setores da economia. Este fato requer especial atenção no processo de planejamento do setor energético, sobretudo em decorrência de seus benefícios econômicos e ambientais. O estudo de planejamento setorial de longo prazo, Plano Nacional de Energia - PNE 2030, sinalizou a meta de conservação anual de energia equivalente a 10% do mercado de 2030, definindo também a meta de 2,5% do mercado de 2016. O Plano Decenal de Expansão de Energia Elétrica 2007/2016 também considera a opção de eficiência energética como alternativa para atender o aumento de consumo de energia elétrica [4].

Um fato relevante para o Brasil foi a crise energética de 2001, durante a qual a economia de energia passou a fazer parte de um grande esforço nacional, combatendo o desperdício em todos os segmentos da economia, sendo um dos focos os prédios públicos.

No entanto, o incremento da eficiência energética junto aos usuários é uma alternativa ainda frequentemente considerada de forma limitada, sendo necessário difundir seus métodos e resultados. Com esse enfoque, baseando-se em um caso concreto, este trabalho apresenta aspectos práticos da implementação de uma auditoria energética realizada em uma escola pública de Foz do Iguaçu.

O trabalho realizado foi originado de uma demanda da direção da própria escola que tinha interesse em instalar equipamentos de ar-condicionado e precisava saber quais as condições das instalações existentes para receber o aumento de carga. A demanda da escola originou a possibilidade de eficientizar as instalações existentes, analisando a viabilidade de mudança na tecnologia de uso final por meio do emprego de equipamentos mais eficientes.

A análise prévia das instalações da escola mostrou que o maior consumo de energia elétrica estava associado ao sistema de iluminação, sendo este escolhido para as ações de eficiência.

Na maioria das escolas públicas o sistema de iluminação é responsável pelo maior consumo de energia elétrica, ao mesmo tempo é o sistema com o maior potencial de economia e o que normalmente está fora das exigências da NBR 5413 – Iluminação de Interiores. Assim, utilizando a escola como caso de estudo, se procedeu à realização de uma série de simulações que mostram a influência sobre o consumo de energia de sistemas de iluminação que não atendem ao especificado na norma, seja por estar com os níveis de iluminação abaixo do exigido ou, como ocorre em alguns casos, acima dos níveis exigidos.

Outro problema encontrado em escolas públicas, especificamente em projetos implementados pela Prefeitura de Foz do Iguaçu, é a altura do pé-direito das salas de aula, que tem influência no volume de ar que é necessário resfriar quando as mesmas possuem ar-condicionado. Assim, aproveitando a mesma escola, surgiu o interesse em saber qual o impacto sobre o consumo de energia elétrica devido ao sistema de iluminação para diferentes alturas de instalação.

Nesse contexto, este trabalho mostra os resultados da Auditoria Energética realizada no Colégio Estadual Paulo Freire, no município de Foz do Iguaçu, juntamente com as simulações que mostram a sensibilidade dos resultados para diferentes situações operativas.

2. POTENCIAL DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA EM ESCOLAS PÚBLICAS

Alguns setores da economia brasileira possuem alta dependência de energia elétrica. O setor público no Brasil possui essa característica, sendo que em média 76% de toda energia utilizada é de origem elétrica e a cada ano esse número tende a aumentar.

De acordo com dados do PROCEL, os prédios públicos brasileiros apresentam um potencial de economia de energia da ordem de 2.235 GWh, 20% dos 11.177 GWh consumidos anualmente. Estes resultados podem ser alcançados adotando medidas que impliquem ações de atualização tecnológica, com a substituição de equipamentos existentes por outros mais eficientes no uso final de energia.



VIII SEMINARIO DEL SECTOR ELECTRICO PARAGUAYO - CIGRÉ
29, 30 y 31 de Octubre de 2008

Embora os avanços tecnológicos permitam uma maior eficiência na prestação dos serviços energéticos, os usos finais de energia ainda comportam altos níveis de desperdício, o qual está ligado à pouca importância que se dá aos mesmos no que se refere aos hábitos de uso e cultura do consumo, mesmo após a crise de consumo de 2001.

Com o fim de melhorar a eficiência energética nos usos finais, é necessário conhecer como ocorre esse uso final. Especificamente nos prédios públicos brasileiros, a forma como a energia é utilizada depende dos padrões tecnológicos e do desempenho energético dos diversos sistemas e equipamentos instalados, das características arquitetônicas, do clima local e da atividade a que se destinam esses prédios. No entanto, um dos grandes problemas na administração pública é a falta de constante capacitação do corpo técnico encarregado de projetar os prédios e especificar os equipamentos de uso final de energia que serão utilizados nos seus ambientes, ao qual ainda deve ser somado o fato de que a construção das instalações e a compra dos equipamentos dependem de um processo de licitação no qual o ganhador é o que solicita o menor preço. Como resultado tem-se prédios com elevado consumo de energia.

Por outro lado, é reconhecido que o consumo de energia elétrica nas escolas públicas representa uma pequena parcela do consumo total nos prédios públicos. No entanto, esse segmento é o alvo de maior relevância para a prática de melhorias no uso final de energia elétrica, pois, além de possuírem um grande potencial de conservação de energia, oferecem um ambiente de disseminação de informações que permitem a formação de cidadãos conscientes quanto ao uso racional de energia, isto é, levam atitudes eficientes para fora da escola. É de suma importância considerar a eficiência energética como conceito socioeconômico, formando cidadãos conscientes da importância da energia para a economia do país, para o meio-ambiente e, portanto, para toda a sociedade. A filosofia que deve permear esta ação é: pelo exemplo se ensina, pelo exemplo se aprende.

Dados do censo escolar de 2006, realizado pelo INEP (Instituto de Estudo e Pesquisas Educacionais do Ministério de Educação e Cultura), revelam que existem cerca de 56 milhões de alunos matriculados em instituições de ensino, sendo que 86,5% destes estão em escolas da rede pública de ensino. É esse contexto que fundamenta a escolha das escolas públicas como meio disseminador de informações através da prática.

As escolas não necessitam gastar energia, poluir o meio-ambiente e fornecer condições pobres de aprendizagem. Já existem conhecimentos e produtos para torná-las mais sustentáveis e eficientes energeticamente. O ideal é maximizar o uso de iluminação natural, incorporar tecnologias mais eficientes e aumentar a ventilação natural, reduzindo a necessidade de ar condicionado.

3. AUDITORIA ENERGÉTICA APLICADA EM UMA ESCOLA PÚBLICA

A demanda originada pela escola foi a de verificar as condições das instalações elétricas com o fim de instalar ar-condicionado nas salas de aula. Porém, antes de realizar qualquer atividade é preciso conhecer e diagnosticar a realidade energética, para então estabelecer as prioridades, implantar os projetos de melhoria e de redução de desperdícios e, posteriormente, acompanhar os resultados em um processo contínuo.

Dessa forma, primeiramente foi realizada uma análise dos usos finais de energia na Escola, para determinar se existia potencial de conservação e, se assim fosse, como poderiam ser propostas ações que tivessem um impacto significativo sobre os aspectos comportamentais e que servissem como um ato de motivação. Isto considerou o fato de que os recursos disponíveis para a execução das ações eram limitados à instalação de equipamentos de ar-condicionado e adaptação das instalações elétricas para recebê-los.

De forma geral, os principais usos finais de energia elétrica identificados em Escolas são:

- 1** Sistemas de Iluminação;
- 2** Sistemas de Condicionamento de Ar;
- 3** Sistemas de Bombeamento de água;

- 4 Eletrodomésticos utilizados na preparação de refeições;
- 5 Microcomputadores e outros equipamentos de escritório.

3.1. Identificação De Oportunidades E Proposição De Soluções Mais Eficientes E Econômicas

Na escola em questão o único uso final relevante identificado, do ponto de vista do consumo de energia elétrica, foi o sistema de iluminação. Assim como na maioria das edificações públicas, o uso de energia é fortemente dependente da iluminação. Outro fator que contribuiu para eleger o sistema de iluminação como prioritário foi que a iluminação natural era praticamente inexplorada e os níveis de iluminação estavam acima do especificado pela norma NBR-5413 – Iluminação de Interiores, mostrando assim um considerável potencial de conservação a ser explorado, sem afetar o conforto dos usuários.

Após a conclusão da etapa anteriormente descrita é possível elaborar a análise quantitativa com o objetivo de determinar o potencial de conservação de energia pela efficientização das instalações existentes no sistema de iluminação.

No campo da iluminação sabe-se que a qualidade da luz é decisiva, tanto no que diz respeito ao desempenho das atividades, como na influência que exerce no estado emocional e no bem-estar dos seres humanos. Conhecer a luz, as alternativas disponíveis e saber controlar quantidade e qualidade, são ferramentas preciosas para o sucesso de qualquer instalação [6]. Assim, a identificação das oportunidades de efficientização do sistema de iluminação deve considerar os aspectos tecnológicos e os aspectos relacionados com a sua influência sobre o bem-estar dos usuários das instalações.

Os trabalhos de eficiência energética em sistemas de iluminação mostram alguns problemas frequentes. Geralmente se encontram fora dos padrões técnicos adequados, sendo as ocorrências mais comuns:

- Iluminação em excesso ou deficiente em relação ao especificado na NBR 5413;
- Falta de aproveitamento da iluminação natural;
- Uso de lâmpadas, luminárias e/ou reatores com baixa eficiência luminosa;
- Falta de comandos (interruptores) das luminárias;
- Falta de manutenção;
- Luminárias mal distribuídas;
- Hábitos de uso inadequados.

Após a identificação dos problemas e oportunidades, devem ser propostas alternativas de ação que promovam a redução no consumo de energia, melhorem o nível de iluminação e que sejam técnica e economicamente viáveis. Geralmente essas propostas estão centradas na substituição dos equipamentos em uso por equipamentos mais eficientes.

Especificamente, quando se trata de propostas para sistemas de iluminação têm-se duas alternativas:

Alternativa 1: Considera-se a simples substituição por equipamentos mais eficientes, mantendo-se o mesmo nível de iluminação atual.

Alternativa 2: Substituição por equipamentos mais eficientes, adotando-se como referência para dimensionamento as recomendações da NBR-5413/1992.

4. APLICAÇÃO DA METODOLOGIA NO COLÉGIO ESTADUAL PAULO FREIRE

A aplicação da metodologia de efficientização do sistema de iluminação no objeto de estudo não ficou limitada à determinação do sistema mais adequado do ponto de vista da redução do consumo de

energia elétrica e do atendimento à NBR 5413. Também foram simuladas algumas situações normalmente encontradas em outras instalações de escolas públicas. Os resultados são apresentados a seguir.

4.1. Potencial De Redução De Consumo: Caso Base

Na aplicação da metodologia de efficientização do sistema de iluminação no Colégio Paulo Freire, foi analisado o potencial de economia de energia e a qualidade da iluminação nas salas de aula, pois uma iluminação de qualidade nas mesmas é fundamental para o bom desempenho do aluno. No Colégio Paulo Freire a iluminação das salas de aula estava superdimensionada e era feita por equipamentos de baixa eficiência energética, como, reatores eletromagnéticos e lâmpadas fluorescentes tubulares de 32W.

O colégio possui dezoito (18) salas de aula, que são totalmente ocupadas no período da manhã e parcialmente ocupadas nos períodos da tarde e da noite, nos cálculos foi considerado que as 18 salas fossem totalmente ocupadas nos três períodos, pois, a demanda de alunos do colégio vem crescendo e logo ocupará todas as salas nos três períodos. Foi considerado um uso de 22 dias ao mês durante 10 meses ao ano para o cálculo do potencial de redução do consumo de energia elétrica. A Tabela 1 mostra a comparação entre o sistema de iluminação atual e o sistema de iluminação dimensionado atendendo a Norma NBR-5413 e buscando a máxima eficiência energética.

Tabela 1 – Comparativo entre o Sistema Atual e Proposto para as Salas de Aula

	Sistema Atual	Sistema Proposto
Tipo de Lâmpada	Fluor. Tubular 32W	Fluor. Tubular 32W
Lâmpadas por Sala de Aula	24	12
Número de Salas de Aula	18	18
Lâmpadas por luminária	2	2
Potência de Lâmpada (W)	32	32
Tipo de Reator	Convencional	Eletrônico
Potência do Reator (W)	13	3
Potência (Lâmpada+Reator) (W)	77	67
Potência Instalada (kW)	16,63	7,24
Energia Consumida (MWh/ano)	54,89	23,88
Energia Consumida (MWh/mês)	5,49	2,39



VIII SEMINARIO DEL SECTOR ELECTRICO PARAGUAYO - CIGRÉ
29, 30 y 31 de Octubre de 2008

Resultados Esperados		
Redução de Potência (kW)		9,40
Energia Conservada (MWh/ano)		31,01
Economia %		56,49

Os resultados apresentados nessa tabela mostram a expressiva redução na potência instalada e no consumo anual de energia elétrica, na ordem de 56,49%. Esta redução no consumo só considera a substituição da tecnologia de iluminação atualmente existente por outra de melhor rendimento e a adaptação dos níveis de iluminação aos exigido pela NBR 5413, no entanto, ganhos também podem ser obtidos pelo adequado controle da iluminação, porém vários problemas estão associados a estes sistemas, os quais serão brevemente descritos a seguir.

4.1.1. Anomalias Encontradas no Controle da Iluminação

A instalação ou ajuste incorreto dos sistemas de controle automático podem resultar em um tempo de uso da iluminação maior do que com um comando básico por interruptor. Isto é particularmente verdadeiro para corredores e banheiros.

Em quase todos os edifícios equipados com temporizadores nos corredores, descobriu-se que o ajuste era alterado pelas equipes de limpeza, levando a um aumento de até 50% no consumo de eletricidade.

Parece ser necessário permitir diferentes retardos do temporizador: relativamente curtos durante os horários de funcionamento, mas muito mais longos para os períodos de limpeza. Os temporizadores “inteligentes” têm diferentes retardos, dependendo do comando realizado no equipamento, sendo uma tecnologia promissora em projetos de eficiência energética.

Da mesma forma que com os temporizadores, a iluminação de corredores equipada com sensores de infravermelho também é alterada pela equipe de limpeza.

Em ambos os casos, os retardos devem ser ajustados de acordo com o tipo de atividade realizada. Um retardo curto demais pode ser incômodo, e também leva a um acionamento frequente que pode diminuir a vida útil das lâmpadas fluorescentes.

Em lavabos, o posicionamento incorreto dos sensores, associado a um retardo demasiado longo, pode causar um consumo maior de energia em iluminação. Quando o sensor pode sempre “ver” o ocupante, o retardo pode ser ajustado para um tempo muito curto. Apenas neste caso a economia é maximizada.

Com a crescente conscientização sobre o uso eficiente da energia elétrica, promovida por diversos programas, os usuários mostram-se bastante preocupados com o consumo de energia. A razão de algumas salas permanecerem iluminadas por períodos de tempo muito longos é que seus interruptores muitas vezes são de difícil acesso, não estão corretamente identificados ou controlam várias salas ao mesmo tempo. Este é um problema particularmente muito encontrado em escolas públicas.

4.2. Comparando Alternativas Com Diferentes Níveis De Iluminação

Um dos problemas mais comumente encontrado em auditorias energéticas em escolas públicas é o super-dimensionamento ou o sub-dimensionamento dos níveis de iluminação em relação ao exigido

VIII SEMINARIO DEL SECTOR ELECTRICO PARAGUAYO - CIGRÉ
29, 30 y 31 de Octubre de 2008

pela NBR 5413. Isto se traduz em diferentes potenciais de conservação de energia, ou, em algumas circunstâncias, em um aumento no consumo ao atender os níveis da norma.

Para mostrar o anterior, foram realizadas várias simulações considerando como caso base o sistema dimensionado eficientemente. Assim, a Tabela 2 mostra o potencial de conservação para diferentes níveis de iluminação existentes na instalação da escola. Foi considerada a situação mais encontrada na tecnologia de uso final, lâmpada fluorescente tubular de 32W e reator convencional, para a comparação com o sistema otimamente dimensionado.

Tabela 2: Comparação entre o sistema ótimo de iluminação e sistemas de iluminação fora da norma NBR 5413

Sistemas Usualmente Encontrados	Sub-dim. 20%	Sub-dim. 10%	Super-dim. 10%	Super-dim. 20%
Tipo de Lâmpada	Fluor. Tub. 32W	Fluor. Tub. 32W	Fluor. Tub. 32W	Fluor. Tub. 32W
Lâmpadas por Sala de Aula	8	12	16	20
Salas de Aula	18	18	18	18
Lâmpadas por luminária	2	2	2	2
Potência de Lâmpada (W)	32	32	32	32
Tipo de Reator	Convencional	Convencional	Convencional	Convencional
Potência do Reator (W)	13	13	13	13
Potência (Lâmp.+Reat.) (W)	77	77	77	77
Potência Inst. (kW)	5,54	8,32	11,09	13,86
Energia Consumida (MWh/ano)	18,30	27,44	36,59	45,74
Energia Consumida (MWh/mês)	1,83	2,74	3,66	4,57
Resultados Esperados				
Redução de Potência (kW)	-1,69	1,08	3,85	6,62
Energia Conserv. (MWh/ano)	-5,58	3,56	12,71	21,86
Economia %	-30,52	12,99	34,74	47,79

Os resultados mostram a influência significativa do dimensionamento do nível de iluminação sobre o consumo de energia elétrica. Isto deve ser considerado como um ponto importante durante a fase de projeto de qualquer prédio.

4.3. Influência Da Altura No Desempenho Do Sistema De Iluminação

No cálculo da iluminação eficiente consideram-se vários fatores, sendo um deles a altura do pé direito, conhecendo essa altura juntamente com a altura de montagem da luminária e a altura útil de trabalho, pode ser obtida a altura útil a ser iluminada.

Outra situação normalmente encontrada em auditorias energéticas é que os diferentes ambientes de um prédio possuem alturas diferentes e a distribuição do sistema de iluminação igual em todos esses ambientes. Por isso foram realizadas algumas simulações mostrando a influência da altura na qual se encontra o sistema de iluminação, em relação ao plano de trabalho, sobre a potência instalada e sobre o consumo de energia desse sistema.

Como caso base foi utilizada a situação das salas de aula do colégio em estudo. As mesmas têm 2,80 metros de altura de pé direito, com a altura de montagem da luminária zero, pois está instalada sobreposta no teto, e a altura útil de trabalho de 0,80 metros. Os resultados de algumas das simulações estão na Tabela 3.

Tabela 3 – Influência da altura no desempenho do sistema de iluminação

Altura do Pé Direito (m)	2.60	2.80	3.00	3.20
Quantidade de Luminárias por Sala de Aula	5.7	5.7	6.0	6.2
Número de Lâmpadas por Luminária	2.0	2.0	2.0	2.0
Quantidade de Lâmpadas por Sala de Aula	11.37	11.42	12	12.4

Como o número de lâmpadas e luminárias não pode ser um número fracionário, é preciso arredondar os números para o inteiro superior. Para uma melhor distribuição das luminárias na sala procura-se sempre usar números pares de luminárias, então no caso de 6,2 recomenda-se o uso de oito luminárias para obter uma distribuição uniforme.

Os resultados obtidos mostram a pequena influência da altura sobre o número de lâmpadas. Mesmo com um aumento de aproximadamente 25% na altura, o número de luminárias aumentou somente em uma. Nesta situação tem uma importância maior a cor do teto e das paredes do que a variação da altura das luminárias.

5. CONCLUSÕES

Uma boa iluminação tornou-se uma necessidade da vida humana, aumenta a produtividade e tem efeito positivo no bem-estar das pessoas que utilizam as instalações. A iluminação adequada em instituições de ensino promove, além do conforto, um maior rendimento dos alunos e conseqüentemente a melhora da qualidade do ensino, além de proteger a saúde visual dos alunos.

Analisando as instalações do sistema público de ensino, porém, identificou-se que comumente os gestores das edificações públicas incorrem no erro de escolher um sistema de iluminação considerando apenas seu custo inicial, ignorando as análises econômicas, os custos relacionados com o consumo de energia elétrica, substituição, manutenção e especialmente a menor produtividade dos usuários destes ambientes. A correta determinação da iluminação do ambiente de trabalho não é apenas fator fundamental para a execução das atividades visuais, mas fator de decisão no investimento de recursos na melhoria do ambiente de trabalho.



VIII SEMINARIO DEL SECTOR ELECTRICO PARAGUAYO - CIGRÉ
29, 30 y 31 de Octubre de 2008

A melhor forma de avaliar um sistema de iluminação é através do diagnóstico energético, e para implementar o mesmo de forma eficiente é necessário utilizar uma metodologia apropriada. Neste trabalho a metodologia foi utilizada para analisar diferentes situações identificadas em escolas públicas. Foi utilizada uma escola para aplicar a metodologia e avaliar a sensibilidade do potencial de conservação de energia ao considerar as diferentes situações que poderiam ocorrer em ambientes similares.

Os resultados mostram quais os fatores que devem ser considerados com maior cuidado, como o nível de iluminação existente e o que se quer obter no processo de eficiência.

Referências

- [1] ALVAREZ, A.L.M. **Uso racional e eficiente de energia elétrica: metodologia para a determinação dos potenciais de conservação dos usos finais em instalações de ensino e similares.** São Paulo, 1998.
- [2] ALVES, L.F.R. **Projetos de Iluminação.** Gráfica UFOP, 2001.
- [3] BORTONI, EDSON DA COSTA & SANTOS, AFONSO H.M. “Análise econômica em conservação de energia”, Em: **Conservação de Energia: eficiência energética de equipamentos e instalações.** Coordenação Milton Marques et al. Itajubá, MG: FUPAI, 2006.
- [4] MME/EPE (2007). **Plano Decenal de Expansão de Energia 2007/2016.** Ministério de Minas e Energia - MME; Secretaria de Planejamento e Desenvolvimento Energético; Empresa de Pesquisa Energética - EPE. Vol. II, Brasília.
- [5] RISSARDI, KLEBER (2007). *Eficiência Energética: Metodologia para Realização de Diagnóstico Energético em Instituições de Ensino.* Relatório de Estágio (Graduação) – Curso de Engenharia Elétrica, Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Foz do Iguaçu, 2007.
- [6] RODRIGUES, P. **Manual de Iluminação Eficiente.** Rio de Janeiro, 2002. ELETROBRÁS/PROCEL